
مدل ریاضی نسبت تزریق پذیری خاک های دانه ای

عباس مجدی

مسعود ظهیری

(// // //)

چکیده

واژه‌های کلیدی :

مقدمه

مروری بر روابط موجود برای تعیین نسبت
تزریق پذیری در تزریق خاک های دانه ای

()

[] (Cambefort)

ارائه مدل ریاضی جهت تعیین قطر فضاها
خالی موثر بین ذرات خاک

[]

[] (Hendron and Lenahan)

%

(0.5 μ m)

(Akbulut and Saglamer)

[]

جدول ۱: روابط مختلف در تعیین نسبتهای تزریق پذیری و نسبت مناسب بین ذرات خاک و ذرات جامد معلق در مایع تزریق.

	(Burwell) [5]	$GR < 11$	$GR > 25$	$GR = \frac{D_{15} (soil)}{d_{85} (grout)}$
	(King) [6]	$GR < 6$	$GR > 11$	$GR = \frac{D_{10} (soil)}{d_{95} (grout)}$
	(Mitchel) [7]	$GR < 11$	$GR > 24$	$GR = \frac{D_{15} (soil)}{d_{95} (grout)}$
	(Hendron) [3]	$GR < 11$	$GR > 24$	$GR = \frac{D_{15} (soil)}{d_{85} (grout)}$
	(Sherard) [8]	$d_{maxgrout} < 0.1D_{15}$	$d_{maxgrout} > 0.1D_{15}$	-
	(Ceren) [9]	-	$GR > 10$	$GR = \frac{D_{10} (soil)}{d_{90} (grout)}$

=GR

= $D_{15}(soil)$

= $D_{10}(soil)$

= $d_{max}(grout)$

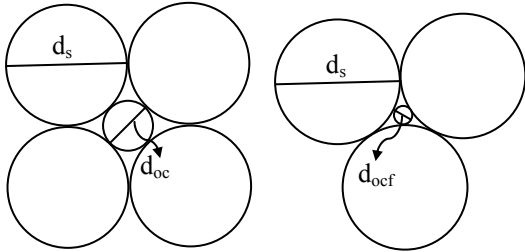
= $d_{85}(grout)$

= $d_{95}(grout)$

= $d_{90}(grout)$

()) -
:d_{ocf} .(

()) () (



تعیین میزان فضای خالی موثر در حالتی که ذرات خاک کروی هستند

الف- ذرات کروی خاک بصورت متقارن قرار دارند

شکل ۱: مقایسه قطر فضای خالی موثر بین ذرات کروی خاک در دو حالت: الف- متقارن ب- نامتقارن.

تعیین میزان فضای خالی موثر در حالتی که ذرات خاک بیضوی میباشند

(-)

[] ()

$$d_{oc} = 0.41d_s$$

()

:d_{oc}

:d_s

ب- ذرات کروی خاک بصورت نامتقارن قرار دارند

(-)

[]

الف- ذرات بیضوی خاک بصورت متقارن قرار دارند

()

()

[]

$$d_{ocf} = 0.15 d_s$$

$$\frac{(x - r_s)^2}{(r_s)^2} + \frac{\left(y - \frac{r_s}{2}\right)^2}{\left(\frac{r_s}{2}\right)^2} = 1$$

()

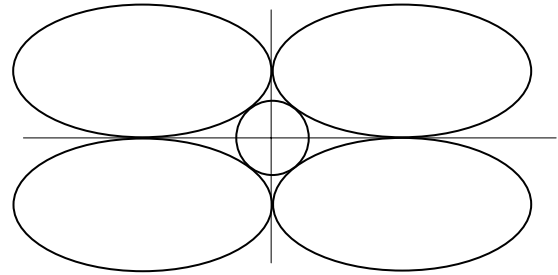
r_s :

$$y = \frac{1}{2} \left(r_s \pm \sqrt{r_s^2 - (x - r_s)^2} \right)$$

()

y ()

E_1



شکل ۲: قرارگیری ذرات بیضوی خاک بصورت متقارن و فضای خالی موثر بوجود آمده بین این ذرات.

$$s = \sqrt{x^2 + y^2}$$

()

S :

y () ()

$$S = \sqrt{x^2 + \left[\frac{1}{2} \left(r_s - \sqrt{r_s^2 - (x - r_s)^2} \right) \right]^2}$$

()

S

x

x

y

y

()

()

()

$$s'_{(x)} = 0 \Rightarrow x = 0.16 r_s$$

()

y () x

$$y = 0.22 r_s$$

()

() () ()

$$\frac{(x - h)^2}{a^2} + \frac{(y - k)^2}{b^2} = 1$$

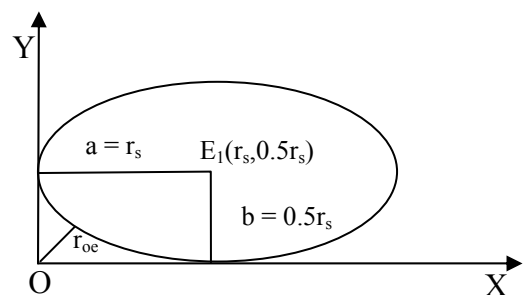
()

h :

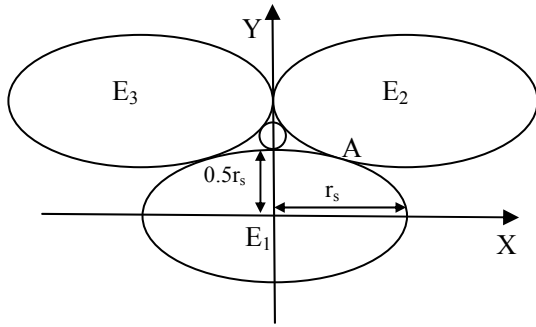
k :

a :

b :



شکل ۳: مختصات بیضی موجود در ربع اول.



$$S_{\min} = r_{oe} = 0.27r_s \Rightarrow d_{oe} = 0.27d_s \quad ()$$

:S_{min}

:r_{oe}

:d_{oe}

شکل ۵: انتخاب مرکز محورهای مختصات منطبق بر مرکز بیضی E₁ جهت تعیین نقطه تماس بیضی ها.

ب- ذرات بیضوی خاک بصورت نامتقارن قرار دارند

(E₂)

(E₂)

()

$$\frac{(x - r_s)^2}{r_s^2} + \frac{(y - 0.86 r_s)^2}{\left(\frac{r_s}{2}\right)^2} = 1$$

()

(n=0.5r_s)

()

()

(E₁)

(E₁)

()

F D B

$$\frac{x^2}{r_s^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{r_s}{2}\right)^2} = 1$$

)

(E₃ E₂, E₁)

()

E₂ E₁

()

A

(C)

()

0.5r_s

CH

C

BF

() () HCB

$$y_A = 0.43 r_s$$

()

$$HB = 0.86 r_{oef}$$

A

()

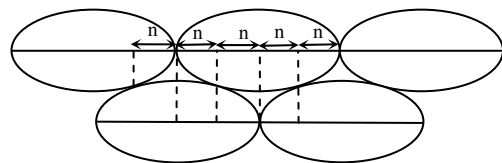
$$HC = 0.5 r_{oef}$$

(r_s, 0.86 r_s)

(E₂)

()

:I_{oef}



HC HB

E₂) B

r_{oef}

(

(n=0.5r_s)

$$9.74 r_{oef}^2 + 0.52 r_s^2 - 6.04 r_{oef} \cdot r_s = 0$$

()

$$r_s^2$$

$$9.74 \left(\frac{r_{oef}}{r_s} \right)^2 - 6.04 \left(\frac{r_{oef}}{r_s} \right) + 0.52 = 0$$

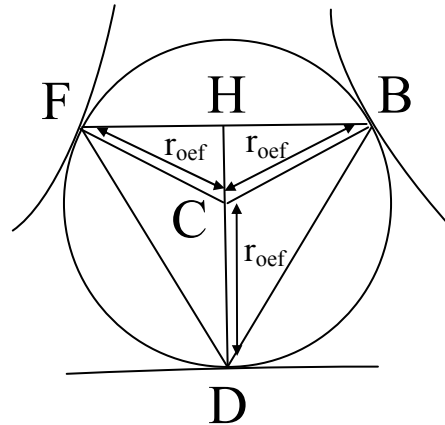
()

()

$$r_{oef} = 0.1 r_s \Rightarrow d_{oef} = 0.1 d_s$$

()

:d_{oef}



شکل ۶: فضای خالی موثر و نقاط تماس آن با بیضی ها.

$$x_B = HB = 0.86 r_{oef}$$

()

$$y_B = OD + DC + HC = 0.5 r_s + r_{oef} + 0.5 r_{oef}$$

$$y_B = 0.5 r_s + 1.5 r_{oef}$$

()

E₁

:OD

بررسی تزریق پذیری خاک ها با استفاده از
مدل ریاضی ارائه شده

(E₂)

B

() y x

() ()

E₂

$$\frac{(0.86 r_{oef} - r_s)^2}{r_s^2} + \frac{(0.5 r_s + 1.5 r_{oef} - 0.86 r_s)^2}{\left(\frac{r_s}{2} \right)^2} = 1$$

()

()

جدول ۲: قطر فضای خالی موثر برای حالت‌های مختلف شکل و نحوه قرارگیری ذرات خاک.

○		[10] ○		
0.1	0.27	0.15	0.41	

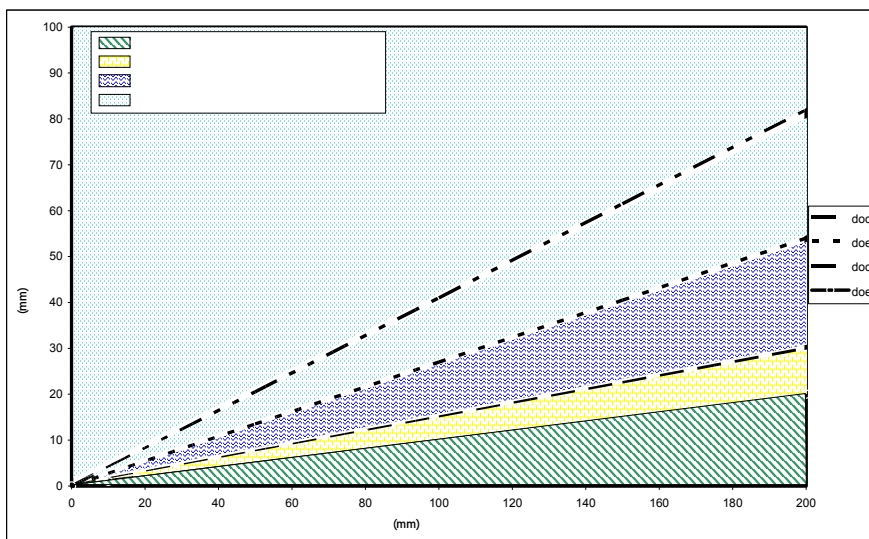
()

()

جدول ۳: دسته بندی کیفیت عملیات تزریق بر اساس رابطه بین بزرگترین ذرات معلق آمیزه تزریق و قطر فضاهای خالی بین ذرات خاک در حالت‌های مختلف.

$d_{\max(\text{grout})} < d_{\text{odef}}$	()
$d_{\text{odef}} < d_{\max(\text{grout})} < d_{\text{ocf}}$	()
$d_{\text{ocf}} < d_{\max(\text{grout})} < d_{\text{oe}}$	()
$d_{\text{oe}} < d_{\max(\text{grout})}$	()

$d_{\max(\text{grout})}$:



شکل ۷: قطر فضای خالی موثر و محدوده بزرگترین ذرات معلق آمیزه تزریق در ایجاد کیفیت های مختلف تزریق برای اندازه های مختلف خاک.

ارائه نسبت تزریق پذیری جدید با استفاده از
مدل ریاضی ارائه شده

:GR

D_{10}

d_s

D_{10}

[]

$$\left(\frac{d_s}{D_{10}} \right) \left(\frac{d_s}{D_{10}} \right) \left(\frac{d_s}{D_{10}} \right) \left(\frac{d_s}{D_{10}} \right) \left(\frac{d_s}{D_{10}} \right) \left(\frac{d_s}{D_{10}} \right) \left(\frac{d_s}{D_{10}} \right) \left(\frac{d_s}{D_{10}} \right) \left(\frac{d_s}{D_{10}} \right) \left(\frac{d_s}{D_{10}} \right)$$

D_{10}

$$d_{oc} = 0.41 D_{10(\text{Soil})}$$

()

[]

$$d_{oe} = 0.27 D_{10(\text{Soil})}$$

()

$$d_{ocf} = 0.15 D_{10(\text{Soil})}$$

()

$$d_{oef} = 0.1 D_{10(\text{Soil})}$$

()

()

()

() ()

$$d_{\min(\text{Soil})} = D_{10(\text{Soil})}$$

()

$$d_{100(\text{Grout})} < d_{oef}$$

()

: $d_{\min(\text{Soil})}$

: $D_{10(\text{Soil})}$

() ()

$$d_{100(\text{Grout})} < 0.1 D_{10(\text{Soil})}$$

()

$$d_{\max(\text{Grout})} = d_{100(\text{Grout})}$$

()

() ()

: $d_{\max(\text{Grout})}$

()

: $d_{100(\text{Grout})}$

$$GR = \frac{D_{10(\text{Soil})}}{d_{100(\text{Grout})}} = \frac{D_{10(\text{Soil})}}{< 0.1 D_{10(\text{Soil})}} \Rightarrow GR > 10$$

()

()

()

$$d_{oef} < d_{100(\text{Grout})} < d_{ocf}$$

$$GR = \frac{d_{\min(\text{Soil})}}{d_{\max(\text{Grout})}} = \frac{D_{10(\text{Soil})}}{d_{100(\text{Grout})}}$$

()

() () ()

) () [] ()

) G1 () D_{10(Soil)}

G5 (No.10)

[] ()

$$0.1 D_{10(Soil)} < d_{100(Grout)} < 0.15 D_{10(Soil)}$$

$$\frac{7 D_{10(Soil)}}{D_{10(Soil)}} < \frac{D_{10(Soil)}}{d_{100(Grout)}} < \frac{10 D_{10(Soil)}}{D_{10(Soil)}}$$

$$7 < \frac{D_{10(Soil)}}{d_{100(Grout)}} < 10$$

G1 ()

G5 () ()

()

D_{10(Soil)} 7 < GR < 10 ()

(d_{100(Grout)}) () () () ()

() 4 < GR < 7 ()

GR < 4 ()

()

) 1.5cm (0.15 cm

مطالعه موردی و مقایسه ای

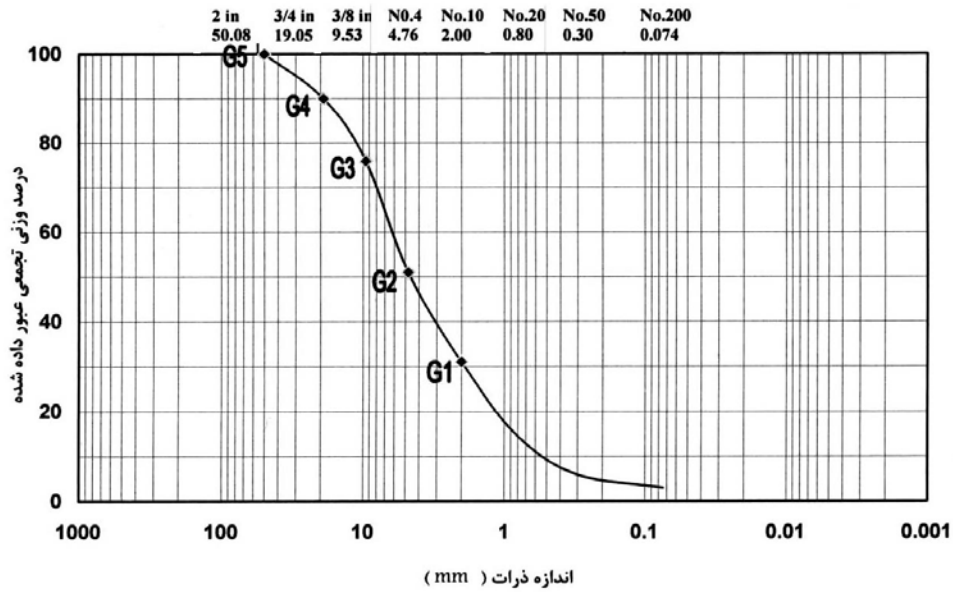
جدول ۴: کیفیت عملیات تزریق بر اساس تغییرات نسبت تزریق پذیری.

10 < GR	()
7 < GR < 10	()
4 < GR < 7	()
GR < 4	()

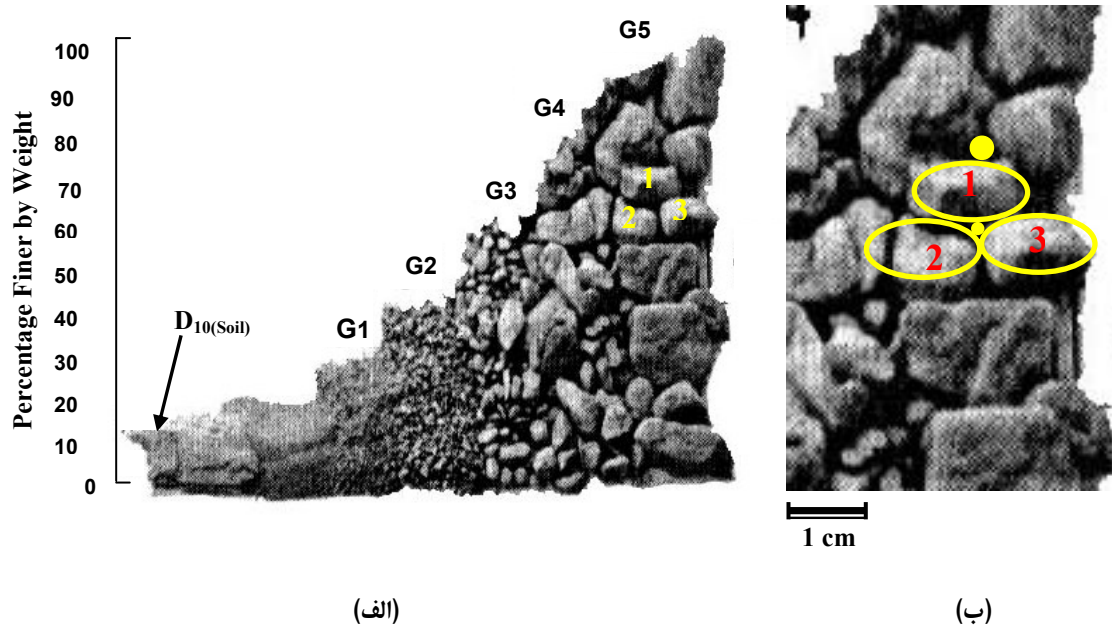
()

()

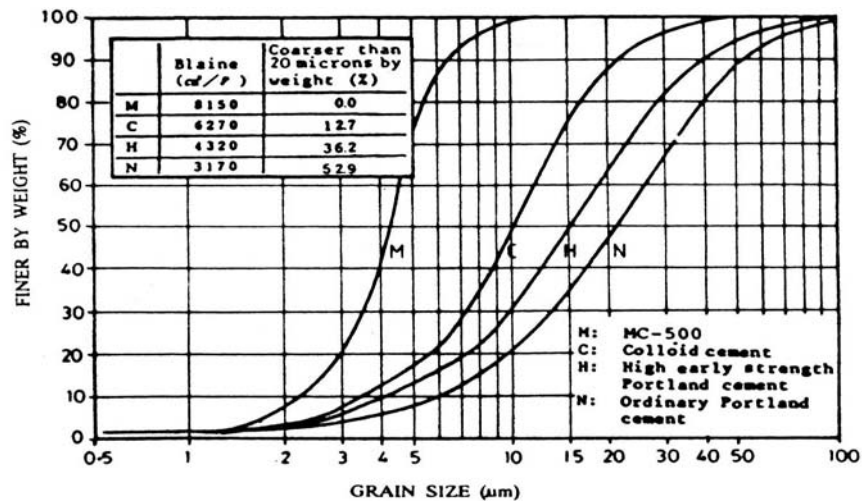
MC-500



شکل ۸: منحنی دانه بندی مورد استفاده جهت تعیین نسبت تزریق پذیری [۱۴].



شکل ۹: الف- شکل شماتیکی دانه بندی خاک مورد استفاده را به تفکیک گروه ۵ گانه نشان می دهد [۱۵]
ب- بررسی مدل ریاضی ارائه شده بر روی نمونه خاک.



شکل ۱۰: دانه بندی سیمانهای مورد استفاده جهت تعیین نسبت تزریق پذیری [۱۶].

جدول ۵: مقایسه نسبتهای تزریق پذیری پیشنهاد شده توسط محققین مختلف.

مقدار عددی نسبت تزریق پذیری و کیفیت عملیات تزریق						اندازه ذرات مختلف خاک (mm)		اندازه های مختلف ذرات سیمان (mm)												نام محققین
تزریق با سیمان معمولی		تزریق با سیمان کلوییدی		تزریق با سیمان MC-500		D ₁₀	D ₁₅	سیمان معمولی				سیمان کلوییدی				سیمان MC-500				
مقدار تزریق	مقدار عددی	مقدار تزریق	مقدار عددی	مقدار تزریق	مقدار عددی			d ₈₅	d ₉₀	d ₉₅	d ₁₀₀	d ₈₅	d ₉₀	d ₉₅	d ₁₀₀	d ₈₅	d ₉₀	d ₉₅	d ₁₀₀	
B	10	T	25	T	78	0.55	-	-	.055	-	-	-	.022	-	-	-	.007	-	-	سرن [9]
M	19	T	50	T	141	-	0.85	.045	-	-	-	.017	-	-	-	.006	-	-	-	بورول [5]
M	19	T	50	T	141	-	0.85	.045	-	-	-	.017	-	-	-	.006	-	-	-	هندرون [3]
M	13	T	34	T	106	-	0.85	-	-	.062	-	-	.025	-	-	-	.008	-	-	میچل [7]
M	9	T	22	T	69	0.55	-	-	-	.062	-	-	.025	-	-	-	.008	-	-	کینگ [6]
B	8	T	17	T	71	-	0.85	-	-	-	0.1	-	-	-	.05	-	-	-	.012	شرارد [8]
M	5	T	11	T	46	0.55	-	-	-	-	0.1	-	-	-	.05	-	-	-	.012	مجدی-ظهیری

() :T
 () :B
 () :M

()

()

()

نتیجه گیری

()

()

مراجع

- 1 - Cambefort, H. (1951). "Foliate gravelly alluvium with opened structure." (In French). *Proceedings of the Fourth Conference on Large Dams* New Delhi, Vol. IV, PP. 434-452.
 - 2 - Cambefort, H. (1977). "The principles and applications of grouting." *Q. J. Eng. Geol.*, Vol. 10 PP. 57-95.
 - 3 - Hendron, J. and Lenahan, T. (1976). "Grouting in soils." *Vol. 2: Design and Operations Manual* Federal Highway Administration Halliburton Services Duncan Oklahoma Technical Report.
 - 4 - Akbulut, S. and Saglamer, A. (2002). "Estimating the groutability of granular soils." *Tunnelling and underground space technology*. Vol. 17, PP. 371-380.
 - 5 - Burwell, E. B. (1958). "Cement and clay grouting of foundations." *Practice of the Corps of Engineering. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division ASCE*. Vol. 84 PP.1551/1-1551/22.
 - 6 - King, J. C. and Bush, E. G. W. (1961). "Symposium on grouting, grouting of granular materials." *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division ASCE*. Vol. 87 (SM2).
 - 7 - Mitchell, J. K. (1970). "In-place treatment of foundation soils." *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division ASCE*. Vol. 96, No. 1, PP. 73-110.
-

8 - Sherard, J. L. and Dunningan, L. P. (1984). "Basic properties of sand and gravel filters." *J. G. ASCE* New York Vol. 110, No. 6, PP. 684-750.

9 - Incecik, M. and Ceren, I. (1995). *Cement grouting model tests*. Bulletin of the Technical University of Istanbul Istanbul Vol. 48, No. 2, PP. 305-317.

11 - Budhu, M. (2000). *Soil Mechanics & foundation*. John Wiley & Sons Inc., PP. 586.

12 - Das, M. B. (1990). *Advanced soil mechanics*. Mc Graw-Hill Book CO. PP.511.

14 - Majdi, A. and Aalee, A. R. (2002). "Effect of cementitious grouts on strength properties of alluvial deposits." *4th International Conference on Ground Improvement Techniques*, Kualalumpur Malaysia, PP. 497-504.

16- Bell, A. L. (1992). *Grouting in the ground*. Thomas Telford London, PP.658.
